

**Этап 1. Исходное сообщение и его представление в шестнадцатеричном и двоичном виде, длина исходного сообщения (в байтах и битах).**

Исходное сообщение: Соболев И. А.

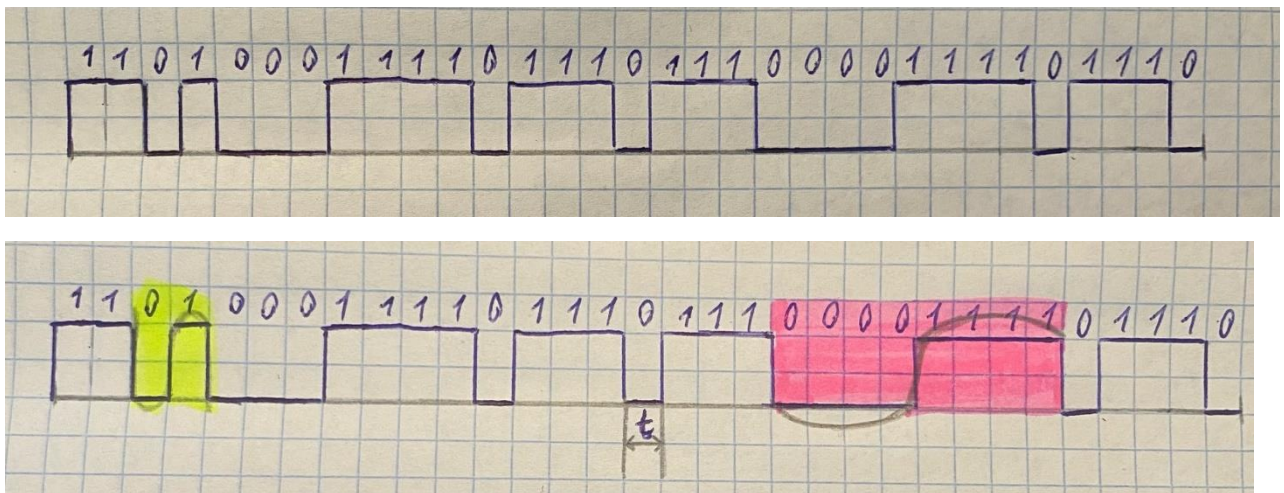
В шестнадцатеричном коде: D1 EE E1 EE EB E5 E2 20 C8 2E 20 C0 2E

В двоичном коде: 11010001 11101110 11100001 11101110 11101011  
11100101 11100010 00100000 11001000 00101110 00100000 11000000  
00101110

Длина сообщения: 13 байт (104 бита)

**Этап 2. Физическое кодирование исходного сообщения.**

**Потенциальный код (без возврата к нулю – NRZ):**



Верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Пусть  $C = 10 \text{ Мбит/с}$

1)  $C = 10 \text{ Мбит/с} \rightarrow t = \frac{1}{C} = 100 \text{ нс}$ ;  $T = 2t \rightarrow f_b = \frac{C}{2} = 5 \text{ МГц}$

2)  $T = 8t \rightarrow f_n = 5:4 = 1,25 \text{ МГц}$

$\Delta = f_b - f_n = 5 - 1,25 = 3,75 \text{ МГц}$

4 гармоника:  $\Delta = 7 \cdot f_b - f_n = 35 - 1,25 = 33,75 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

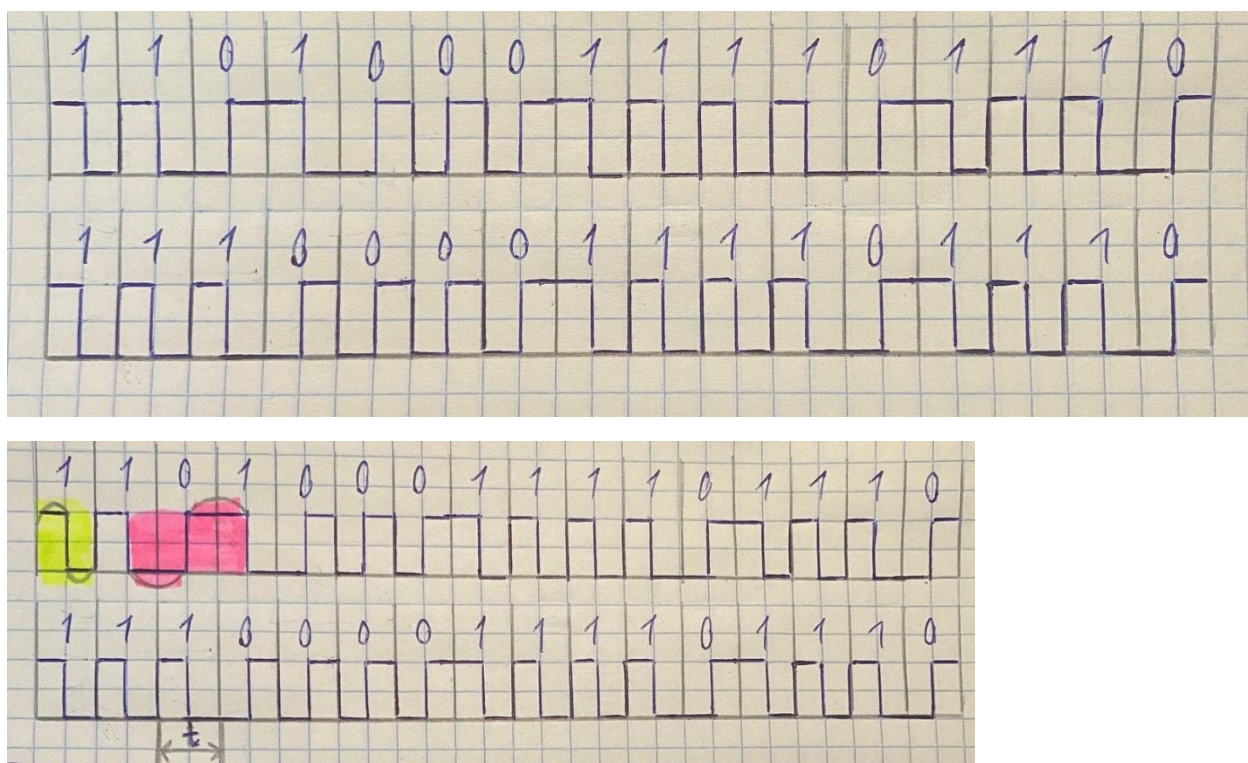
$$f_{cp} = (6 \cdot 5 + 1 \cdot 2,5 + 4 \cdot 1,67 + 3 \cdot 1,25) / 14 = 3,066 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

$$\text{Полоса пропускания } F \geq S \Rightarrow F \geq 33,75 \text{ МГц}$$

$$F = 34 \text{ МГц}$$

**Манчестерское кодирование:**



Верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:



Пусть  $C = 10 \text{ Мбит/с}$

1)  $C = 10 \text{ Мбит/с} \rightarrow t = \frac{1}{C}$ ;  $T = t \rightarrow f_b = \frac{1}{T} = \frac{1}{t} = C \Rightarrow$   
 $\Rightarrow f_b = 10 \text{ МГц}$

2)  $T = 2t \rightarrow f_n = 10 : 2 = 5 \text{ МГц}$   
 $S = f_b - f_n = 10 - 5 = 5 \text{ МГц}$   
 4 гармониками:  $S = 7 \cdot f_b - f_n = 7 \cdot 10 - 5 = 65 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

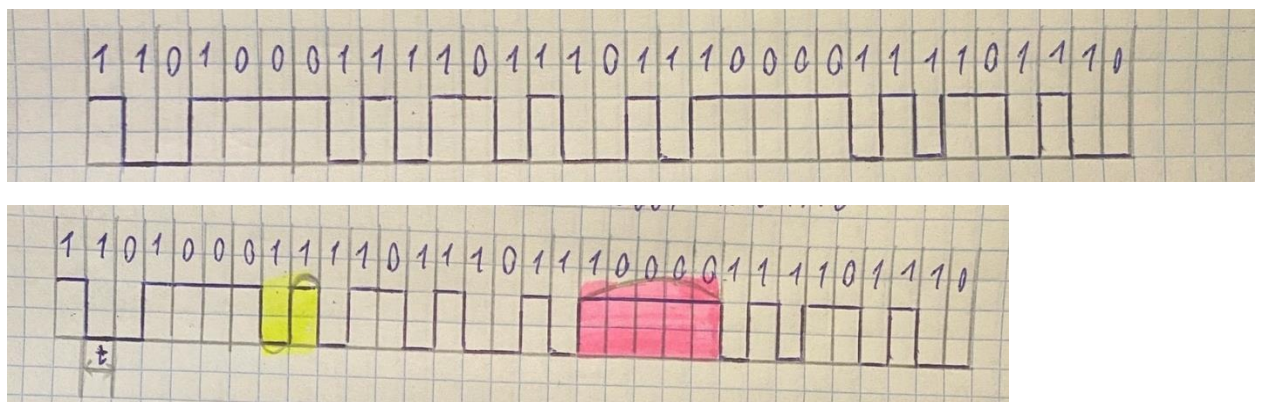
$$f_{cp} = (38 \cdot 10 + 13 \cdot 5) / 51 = 8,7 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

Полоса пропускания  $F > S \Rightarrow F > 65 \text{ МГц}$

$$F = 66 \text{ МГц}$$

**Потенциальный код с инверсией при единице (NRZI):**



Верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Пусть  $C = 10 \text{ Мбит/с}$

1)  $C = 10 \text{ Мбит} \rightarrow t = \frac{1}{C} = 100 \text{ нс}$ ;  $T = 2t \rightarrow f_b = \frac{1}{T} = \frac{1}{2t} = \frac{C}{2} = 5 \text{ МГц}$

2)  $T = 10t \rightarrow f_n = 5 : 5 = 1 \text{ МГц}$   
 $S = f_b - f_n = 5 - 1 = 4 \text{ МГц}$   
 4 гармониками:  $S = 7 \cdot f_b - f_n = 35 - 1 = 34 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

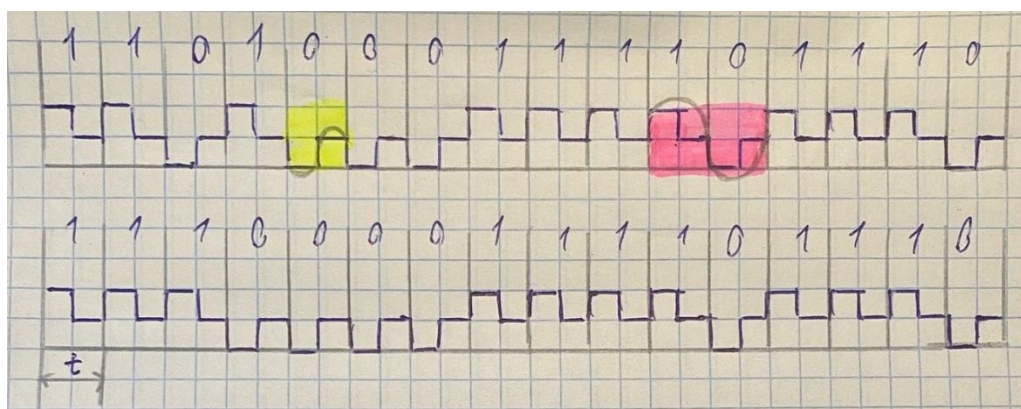
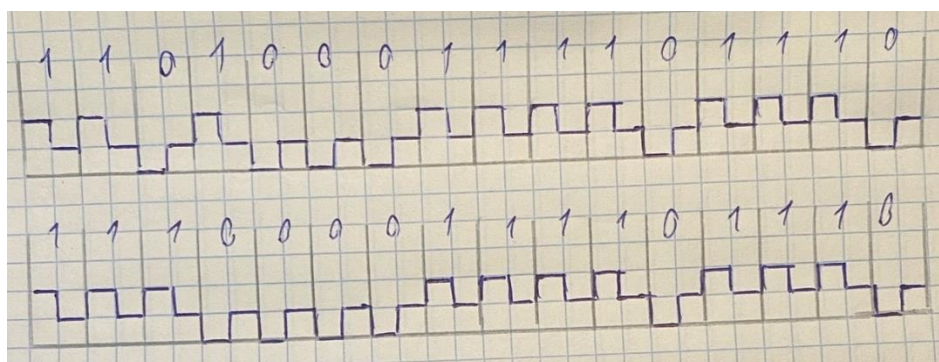
$$f_{cp} = (13 \cdot 5 + 5 \cdot 2,5 + 1 \cdot 1,25 + 1 \cdot 1) / 20 \approx 3,98 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

$$\text{Полоса пропускания: } F > S \Rightarrow F > 34 \text{ МГц.}$$

$$F = 35 \text{ МГц}$$

**Биполярный импульсный код (RZ):**



Верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Пусть  $C = 10 \text{ Мбит/с}$

1)  $C = 10 \text{ Мбит/с} \Rightarrow t = \frac{1}{C} = 100 \text{ нс}; T = t \Rightarrow f_{\text{л}} = \frac{1}{T} = \frac{1}{t} = C = 10 \text{ МГц}$

2)  $T = 2t \Rightarrow f_{\text{н}} = 10 : 2 = 5 \text{ МГц}$

$\Delta = 10 - 5 = 5 \text{ МГц}$

Ч.гармоник:  $7 \cdot 10 - 5 = 65 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:



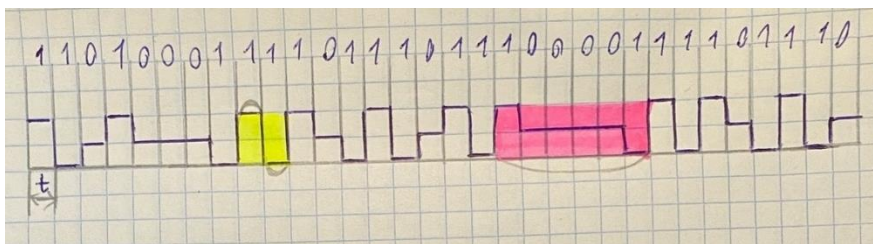
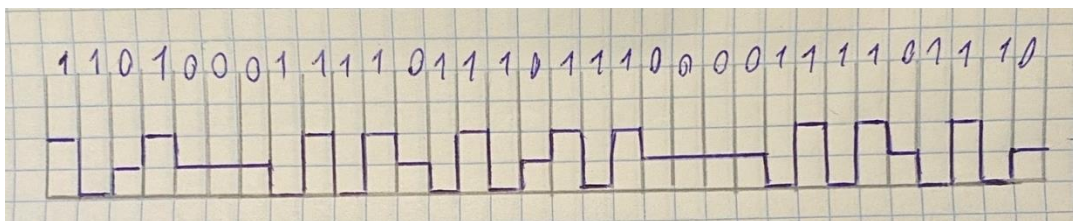
$$f_{cp} = (44 \cdot 10 + 10 \cdot 5) / 54 \approx 9,07 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

$$\text{Полоса пропускания: } F \rightarrow S \Rightarrow F > 65 \text{ МГц}$$

$$F = 66 \text{ МГц}$$

**Биполярное кодирование с альтернативной инверсией (AMI):**



Верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Пусть  $c = 10 \text{ Мбит/с}$

1)  $C = 10 \text{ Мбит/с} \rightarrow t = 100 \text{ нс}; T = 2t \rightarrow f_6 = \frac{c}{2} = 5 \text{ МГц}$

2)  $T = 12t \rightarrow f_u = 5:6 = 0,83 \text{ МГц}$

$S = f_6 - f_u = 5 - 0,83 \text{ МГц} = 4,17 \text{ МГц}$

4 гармоник:  $S = 7 \cdot 5 - 0,83 = 34,17 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

$$f_{cp} = (8 \cdot 5 + 4 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{5}{3} + \frac{3}{5} \cdot \frac{5}{5} + 1 \cdot 0,83) / 14 \frac{4}{5} \approx 2,8 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

Полоса пропускания  $F > S \Rightarrow F > 34,17 \text{ МГц}$

$F = 35 \text{ МГц}$

Сравнительные таблицы

|      | $f_b$ | $f_H$ | $f_{cp}$ | $F$ |
|------|-------|-------|----------|-----|
| NPZ  | 35    | 1.75  | 3.066    | 34  |
| M2   | 70    | 5     | 8.7      | 66  |
| NRZI | 35    | 1     | 3.98     | 35  |
| RZ   | 70    | 5     | 9.07     | 66  |
| AMI  | 35    | 0.83  | 2.8      | 35  |

| Параметры сравнения     | NRZ | M2 | NRZI | RZ | AMI |
|-------------------------|-----|----|------|----|-----|
| Спектр сигнала          | +   | -  | +    | -  | +   |
| Самосинхронизация       | -   | +  | -    | +  | -   |
| Постоянная составляющая | -   | +  | -    | +  | -   |
| Обнаружение ошибок      | -   | -  | +    | +  | +   |
| Стоимость               | +   | +  | +    | -  | -   |

По сравнительной таблице можно сделать вывод о том, что следующие способы физического кодирования можно выделить в качестве наилучших: RZ, NRZI и манчестерский код. Первый имеет самосинхронизацию, постоянная составляющая отсутствует, способен обнаруживать ошибки, но при этом стоимость реализации высокая, так как имеет три уровня сигнала (из серьёзных минусов стоит отметить необходимость реализовывать широкую полосу пропускания). M2 обладает двумя уровнями сигнала – низкой стоимостью реализации, но не способен обнаруживать ошибки. NRZI имеет меньший спектр, низкую стоимость и может обнаруживать ошибки, (так как при единице сигнал должен меняться на противоположный, если мы, например, получили две единицы, а сигнал не поменялся на противоположный, то это ошибка), но есть постоянная составляющая и не обнаруживает ошибки.

Все три способа имеют одинаковое количество плюсов, но в качестве лучших для кодирования исходного сообщения считаю целесообразным выбрать M2 и NRZI, так как они оба обладают низкой стоимостью реализации.

### Этап 3. Логическое (избыточное) кодирование исходного сообщения

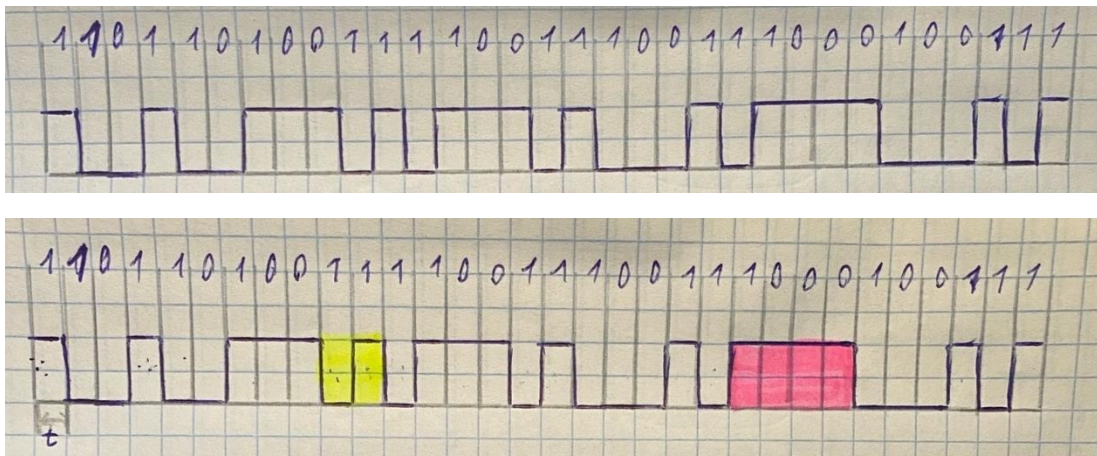
В двоичном коде: 1101 1010 0111 1001 1100 1110 0010 0111 1001 1100 1110 0101 1111 1000 1011 1110 0100 1010 0101 1110 1101 0100 1010 0101 1100 1001 0111 1011 0101 1110 1001 0111 00

В шестнадцатеричном коде: DA 79 CE 27 9C E5 F8 BE 4A 5E D4 A5 C9 7B 5E 97 0

Длина сообщения: 16.25 байт (130 бит)

Избыточность:  $(1 - (130/104)) * 100 = 25\%$

NRZI



Верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Пусть  $C = 10 \text{ МБит/с}$

1)  $C = 10 \text{ МБит/с} \rightarrow t = \frac{1}{C} = 100 \text{ нс}; T = 2t \rightarrow f_B = \frac{1}{T} = \frac{1}{2t} = \frac{C}{2} = 5 \text{ МГц}$

2)  $T = 8t \Rightarrow f_H = 5 : 4 = 1,25 \text{ МГц}$

$\Delta = 5 - 1,25 = 3,75 \text{ МГц}$

Ч гармоник:  $7,5 - 1,25 = 33,75 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

$$f_{cp} = (12 \cdot 5 + 2 \cdot 2,5 + 4 \cdot 1,67 + 1 \cdot 1,25) / 19 \approx 3,8 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

$$\text{Полоса пропускания: } F > S \Rightarrow F > 33,75 \text{ МГц}$$

$$F = 34 \text{ МГц}$$

#### Этап 4. Скремблирование исходного сообщения

Исходное сообщение: 11010001 11101110 11100001 11101110 11101011  
11100101 11100010 00100000 11001000 00101110 00100000 11000000  
00101110

$$B_i = A_i \oplus B_{i-5} \oplus B_{i-7}$$

Данный полином выбран, так как за счет того, что мы учитываем разряды «через один» (имеются в виду  $i-5$  и  $i-7$ ) мы сможем разбавить постоянную составляющую. Длина постоянной составляющей в моем случае один раз равна 8 (из нулей), но в основном колеблется от 4 до 6 (из нулей) -> если мы будем учитывать биты со сдвигом на 5 и на 7 (которые, допустим, будут входить в постоянную составляющую), то текущее значение  $A_i$  почти всегда не будет совпадать с ними, так как оно не будет входить в постоянную составляющую.

Для первых 4 байт:

$$B_1 = A_1 = 1$$

$$B_2 = A_2 = 1$$

$$B_3 = A_3 = 0$$

$$B_4 = A_4 = 1$$

$$B_5 = A_5 = 0$$

$$B_6 = A_6 \oplus B_1 = 0 \oplus 1 = 1$$



$$B7 = A7 \oplus B2 = 0 \oplus 1 = 1$$

$$B8 = A8 \oplus B3 \oplus B1 = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

$$B9 = A9 \oplus B4 \oplus B2 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B10 = A10 \oplus B5 \oplus B3 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$B11 = A11 \oplus B6 \oplus B4 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B12 = A12 \oplus B7 \oplus B5 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B13 = A13 \oplus B8 \oplus B6 = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

$$B14 = A14 \oplus B9 \oplus B7 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B15 = A15 \oplus B10 \oplus B8 = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$B16 = A16 \oplus B11 \oplus B9 = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$$

$$B17 = A17 \oplus B12 \oplus B10 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B18 = A18 \oplus B13 \oplus B11 = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

$$B19 = A19 \oplus B14 \oplus B12 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B20 = A20 \oplus B15 \oplus B13 = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

$$B21 = A21 \oplus B16 \oplus B14 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B22 = A22 \oplus B17 \oplus B15 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B23 = A23 \oplus B18 \oplus B16 = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

$$B24 = A24 \oplus B19 \oplus B17 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B25 = A25 \oplus B20 \oplus B18 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$B26 = A26 \oplus B21 \oplus B19 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B27 = A27 \oplus B22 \oplus B20 = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$B28 = A28 \oplus B23 \oplus B21 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B29 = A29 \oplus B24 \oplus B22 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B30 = A30 \oplus B25 \oplus B23 = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$B31 = A31 \oplus B26 \oplus B24 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

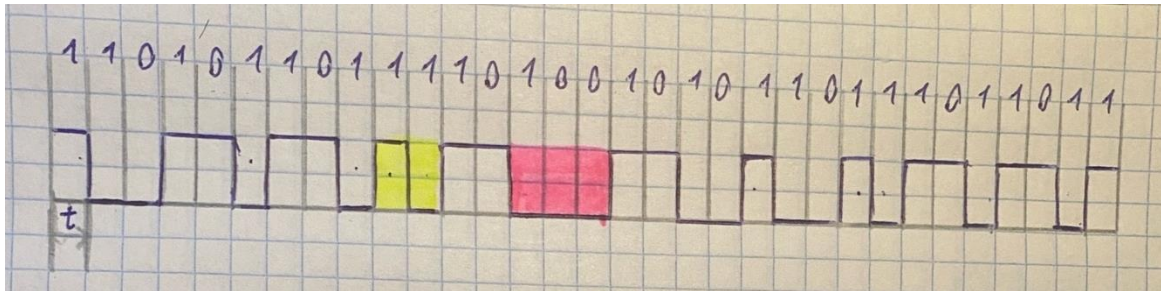
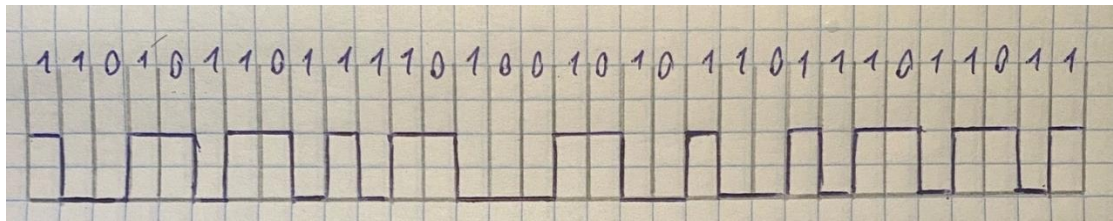
$$B32 = A32 \oplus B27 \oplus B25 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

Полное закодированное сообщение двоичном коде: 11010110 11110100  
 10101101 11011011 10000000 11100011 00111101 10110110 00010100  
 10100010 01110111 10010011 10010101

В шестнадцатеричном коде: D6 F4 AD DB 80 E3 3D B6 14 A2 77 93 95

Длина сообщения: 13 байт (104 бита)

NRZI



Верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Плечо  $C = 10 \text{ Мбит/с}$

1)  $C = 10 \text{ Мбит/с} \rightarrow t = 100 \text{ нс}; T = 2t \rightarrow f_{\text{в}} = \frac{1}{2t} = \frac{C}{2} = 5 \text{ МГц}$

2)  $T = 6t \rightarrow f_{\text{н}} = 5/3 = 1,67 \text{ МГц}$

$\Delta = 5 - 1,67 = 3,33 \text{ МГц}$

Ч каналом:  $7 \cdot 5 - 1,67 = 33,33 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

$$f_{\text{ср}} = (11,5 + 9 \cdot 2,5 + 1 \cdot 1,67) / 21 \approx 3,77 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

Полоса пропускания:  $F > \Delta \rightarrow F > 33,33 \text{ МГц}$

$F = 34 \text{ МГц}$



## Сравнительный анализ результатов логического кодирования

| Метод кодирования | $f_{cp}$<br>МГц | S<br>МГц | Достоинства  | Недостатки                    |
|-------------------|-----------------|----------|--|-------------------------------|
| 4B/5B<br>(NRZI)   | 3.8             | 33.75    | - Нет постоянной составляющей<br>- Есть обнаружение ошибок | -Избыточность кодирования     |
| Scramb<br>(NRZI)  | 3.77            | 33.33    | -Нет избыточности кодирования                              | -Есть постоянная составляющая |

Сравнительный анализ логического кодирования показывает, что для первых 4 байт сообщения оба метода показывают примерно одинаковые характеристики, однако если рассматривать сообщение целиком, то метод скремблирования будет иметь достаточно большую постоянную составляющую, что повлияет на спектр передаваемого сообщения. Поэтому, несмотря на избыточность кодирования, для передачи исходного сообщения я выбираю метод 4B/5B.

### Этап 5. Сравнительный анализ результатов кодирования

| Метод  | Комментарий  |
|--|--|
| Манчестерский код (М-II)                         | + Имеет всего два уровня сигнала<br>+ Отсутствует постоянная составляющая<br>+ Есть самосинхронизация<br>- Широкий спектр сигнала  |
| Потенциальный код с инверсией при единице (NRZI) | + Имеет всего два уровня сигнала<br>+ Есть самосинхронизация<br>- Постоянная составляющая при длинных комбинациях  |
| Избыточное кодирование                           | + Есть самосинхронизация<br>+ Используется меньший спектр<br>+ Можно выявлять ошибки<br>+ Простая реализация в виде таблицы перекодировки<br>- Уменьшение пропускной способности из-за лишних бит<br>- Дополнительные ресурсные затраты при логическом кодировании |
| Скремблирование                                  | + Нет уменьшения пропускной способности<br>+ Отсутствует постоянная составляющая<br>- Дополнительные ресурсные затраты при скремблировании и дескремблировании<br>- Отсутствие гарантии исключения всех последовательностей и возможность появления новых.         |

Таким образом наиболее эффективным алгоритмом кодирования исходного сообщения является избыточное кодирование. В нём ресурсные затраты на вычисление гораздо меньше, нежели для скремблирования, а возможность выявления ошибок перекрывает проблемы с увеличением длины сообщений на 25%, которое снижает пропускную способность на четверть.

